PREDISEÑO DEL PAVIMENTO

1. GENERALIDADES

Ingetec S.A suscribio con el Instituto de Desarrollo Urbano el contrato para la ejecución de los estudios correspondientes al diseño del acceso definitivo de la localidad de Suba hacia la Autopista Medellin. En este informe se trata lo relacionado con el estudio geotécnico para el prediseño del pavimento.

1.1 OBJETO

Este estudio tiene la finalidad de establecer los espesores mínimos de las diferentes capas que constituyen la estructura del pavimento, necesarios para soportar el tránsito proyectado durante el periodo de diseño

1.2 ALCANCE

El alcance del estudio geotécnico para diseño del pavimento comprendió la programación y realización de las investigaciones de campo y laboratorio, los análisis correspondientes y el prediseño de la estructura del pavimento.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

Para lograr los objetivos propuestos se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Reconocimiento superficial del alineamiento del proyecto.
- Exploración del subsuelo a lo largo del alineamiento del proyecto por medio de apiques, toma de muestras y ensayos de campo y laboratorio.
- Análisis geotécnico para la caracterización de los materiales que constituyen el subsuelo y diseño de la estructura del pavimento.
- Elaboración del informe de suelos y diseño del pavimento con la descripción y resultados de las actividades anteriormente anotadas.

1.3 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en los límites de la ciudad de Santafé de Bogotá con el municipio de Cota. La nueva vía servirá como acceso definitivo de la localidad de Suba hacia la Autopista Medelin. La vía tendrá una longitud aproximada de 800 m y estará compuesta de una calzada de dos carriles, uno en cada sentido.

1.4 INFORMACIÓN EXISTENTE

La información técnica consultada para la realización de este estudio fue la siguiente:

- Volumen II. Estudio de Tránsito, INGETEC S.A.
- ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, INV, 1996.
- NORMAS DE ENSAYOS, INV, 1996.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Secretaría General Técnica. Gerencia Interventoría de Estudios. Diseño Racional de Pavimentos. Aplicación de Nuevas Técnicas. Programa INPACO y Manual del Usuario. Octubre 1993.
- Asphalt Institute. Thickness Design Asphalt Pavements for Highways & Streets. 1991.
- Asphalt Institute. Pavement Rehabilitation-Asphalt Widening. CL-6. 1991.
- Asphalt Institute. Open-graded Asphalt Friction Courses. CL-10. 1991.
- Aicun. Curso de Actualización en el Diseño de Pavimentos. Abril 1991.
- Aicun. Curso de Construcción y Rehabilitación de Pavimentos. Julio 1991.
- Fernando Sánchez Sabogal. Conferencias de Pavimentos. Primera Edición. 1977.
- Alfonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, 1997.
- Reglamento Técnico General para Obras Viales. Tomo IV, Libro 2. MOPT.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

2. TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de campo consistieron inicialmente en un reconocimiento detallado del corredor de la vía, con el fin de programar la investigación del subsuelo para determinar los parámetros geotécnicos para el diseño de la estructura del pavimento.

La investigación del subsuelo consistió en la ejecución de seis (6) apiques, a lo largo del proyecto para el estudio de la subrasante, con una sección promedio en planta de 1.10 m * 0.60 m, hasta una profundidad que varió entre 1,50 m y 2,30 m. En la figura 2.1 se presenta la localización en planta de los apiques

Durante la ejecución de las exploraciones se elaboró un perfil estratigráfico con la descripción de los materiales encontrados en cada uno de los estratos. En el Anexo 1 se presentan los registros estratigráficos de cada uno de los apiques.

Adicionalmente con el objeto de caracterizar los materiales detectados en el subsuelo se tomaron muestras alteradas para efectuar ensayos de laboratorio. También se tomaron muestras alteradas e inalteradas en materiales de subrasante considerados como típicos para la determinación en laboratorio del valor de soporte del suelo CBR.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

3. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

3.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Durante la realización de las exploraciones se tomaron muestras para efectuar ensayos de laboratorio, cuyos resultados sirvieron de base para la caracterización de los suelos, los cuales consistieron en ensayos de clasificación (límites de consistencia y granulometría), contenido de humedad natural, capacidad de soporte (CBR) y compresión inconfinada; el ensayo de CBR se ejecutó mediante la toma de muestras alteradas por el método III. En el Cuadro 3.1.1 se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

3.2 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

A partir de un análisis detallado de las características plásticas, granulométricas y de clasificación visual de campo, se definieron los suelos típicos que conforman la subrasante natural a lo largo del alineamiento del proyecto. En la figura 3.2.1 se presenta el perfil estratigráfico a lo largo del proyecto en el cual se presentan los diferentes estratos encontrados.

A continuación se presenta la descripción de los materiales típicos encontrados.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

3.2.1 Sector rio Bogota - Autopista Medellin

En general la estratigrafia típica encontrada a lo largo del corredor del proyecto en este tramo consiste en una capa vegetal de 10 cm de espesor, por debajo de la cual se encuentra una capa de limo arcilloso orgánico y relleno con desechos de construcción de plasticidad media a alta y espesor entre 0,30 m y 0,80 m, a continuación y hasta la profundidad final de los apiques se encontró una capa de arcilla limosa de plasticidad media a baja.

El material arcillo-limoso presenta las siguientes características geotécnicas deducidas de los resultados de laboratorio:

	MIN	***MAX***
Límite líquido, LL (%)	80	91
Indice de plasticidad, IP (%)	20	57
Humedad natural, w_n (%)	38	59
Porcentaje que pasa Tamiz # 200 (%)	99	100
CBR (%)	1,2	1,2

3.2.2 Sector localidad de Suba - Rio Bogota

En general la estratigrafia típica encontrada a lo largo del corredor del proyecto en este tramo consiste en un relleno comformado por desechos de construcción y limo negro de plasticidad y humedad media a baja de 70 cm de espesor y a continuación hasta la profundidad final de los apiques se encontró una capa de limo arcilloso de plasticidad media a alta.

El material limo arcilloso presenta las siguientes características geotécnicas deducidas de los resultados de laboratorio:

	MIN	***MAX***
Límite líquido, LL (%)	24	78
Indice de plasticidad, IP (%)	18	41
Humedad natural, w_n (%)	22	50
Porcentaje que pasa Tamiz # 200 (%)	90	99
CBR (%)	6	6

En los apiques 1 y 2 se detecto filtración de agua a la profundidad de 0,70 m y 0,80 m

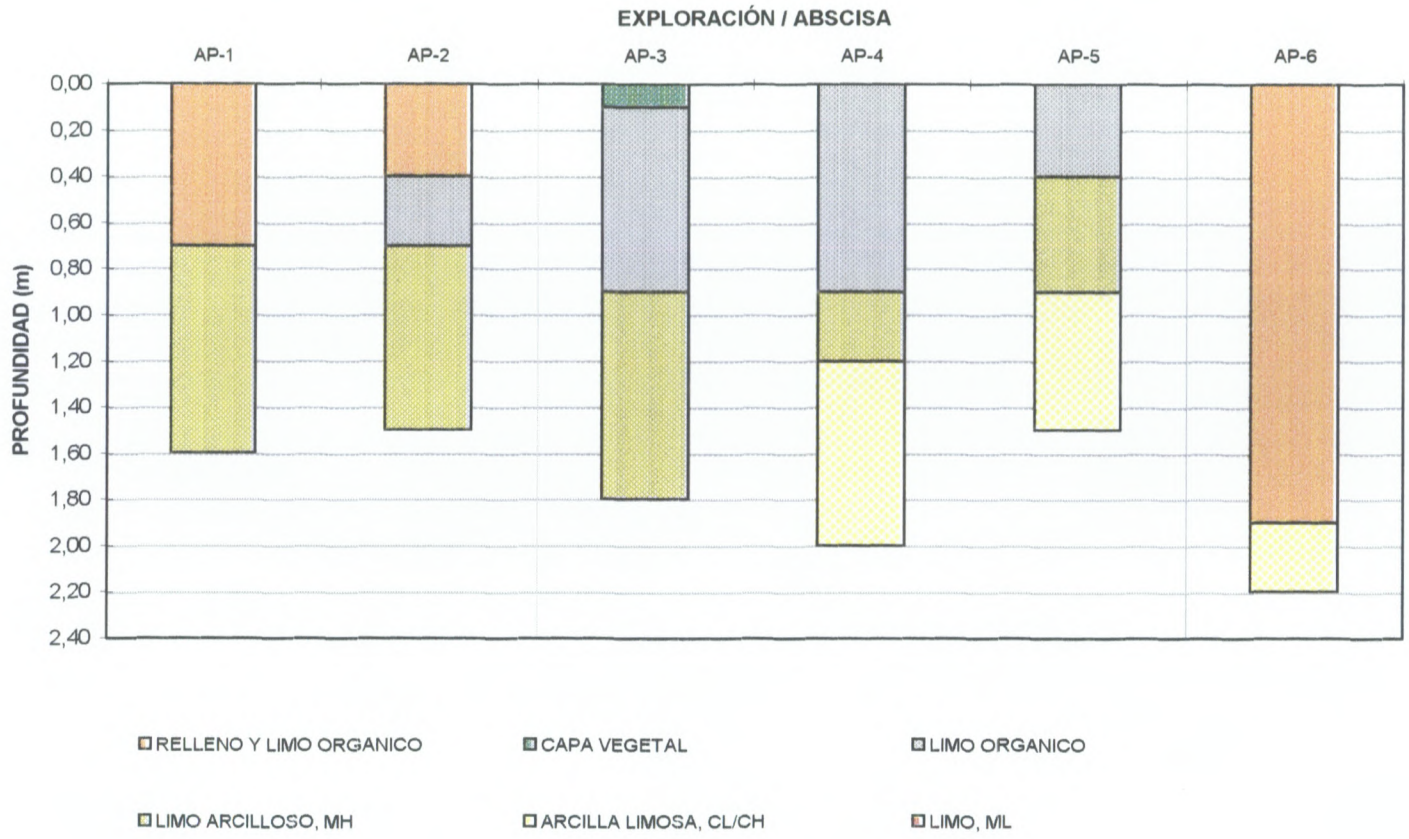
ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

ACCESO DEFINITIVO LOCALIDAD DE SUBA - AUTOPISTA MEDELLIN

CUADRO 3.1.1 RESUMEN RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Ap.	ABSCISA	ESTRATO (m)		ω_n	LL	IP	IL	INDICES					GRANULOMETRIA % PASA				I.G.	CLASIFICACION		Gs	qu (t/m2)	CBR LAB.
								LIQUI-	CONSIS-	COMPA-	PLASTI-	HUME-										
No.	(Km)	DE	A	(%)	(%)	(%)	(%)	DEZ	TENCIA	CIDAD	CIDAD	DAD	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200		AASHTO	USC			%
AP-1	KO-035	1,00	1,60	50,9	78	41	0,34	MEDIA	ALTA		ALTA	MEDIA				98,3	20,0	MH	A-7-5	2,66		6,0
		1,00	1,60		50	18	-1,78	DURA			MEDIA							ML				
AP-2	KO+120	0,80	1,30	37,6	65	32	0,14	DURA	ALTA		ALTA	MEDIA				99,3	20,0	MH	A-7-5	2,66		
AP-3	KO+170	0,40	0,90	24,6	45	26	0,22	DURA	MEDIA		MEDIA	MEDIA				90,3	20,0	CL	A-7-6	2,72	5,0	
		1,50	1,90	22,3	24	3	0,43	MEDIA	BAJA		NO	MEDIA		100,0	99,7	58,4	0,0	ML	A-4	2,76		
AP-4	KO+270	1,30	1,70		88	57	-0,54	DURA			ALTA							CH		2,71		
		1,30	1,70	42,8	91	20	-1,41	DURA	ALTA		MEDIA	BAJA				99,9	20,0	MH	A-7-5			
AP-5	KO+400	1,00	1,50	59,2	80	46	0,55	BLANDO	ALTA		ALTA	MEDIA				99,4	20,0	CH	A-7-5	2,68		1,2
AP-6	KO+600	2,00	2,30	38,6	82	55	0,21	DURA	ALTA		ALTA	MEDIA				99,0	20,0	CH	A-5-5	2,74	7,6	

ACCESO LOCALIDAD DE SUBA AUTOPISTA MEDELLIN
FIGURA 3.2.1 PERFIL ESTRATIGRÁFICO



4. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Para este proyecto se analiza la alternativa de estructura de pavimento flexible, compuesta por capas de concreto asfáltico y de materiales granulares de base y subbase. Para la determinación de los espesores del pavimento se aplicó el método AASHTO

4.1 VALOR DE SOPORTE DE DISEÑO DE LA SUBRASANTE

De acuerdo con lo encontrado en las investigaciones del subsuelo se considera, que debido a la baja capacidad de soporte de la subrasante natural y que por caracteristicas de diseño geométrico y condiciones de drenaje la vía, el nivel de la rasante proyectada necesariamente implica la construcción de un terraplen o relleno sobre el terreno natural en especial en el tramo entre el río Bogota y la autopista Medellin. De acuerdo con lo anterior el material de relleno corresponderá a la subrasante de la nueva vía proyectada.

Para establecer el CBR de diseño de la subrasante se empleo la metodología de Ivanov mediante la cual se puede determinar un CBR equivalente o módulo equivalente de la subrasante en función de los CBR o módulos elasticos de los materiales y espesores de cada capa subyacente. En el Anexo 2 se presentan los resultados obtenidos aplicando dicha metodología adoptando para el caso, los CBR obtenidos de los ensayos de laboratorio y adoptando un CBR de 12% para el material de relleno granular.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO Instituto de Desarrollo Urbano

De acuerdo con lo anterior para el tramo Río Bogota - Autopista Medellin, se obtiene un CBR de diseño de 10% con un espesor mínimo de relleno de 75 cm y para el tramo Río Bogota - Suba, se obtiene un CBR de diseño de 10% con un espesor mínimo de relleno de 35 cm. En el numeral de recomendaciones constructivas se especifican las características del material de relleno

4.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

El método AASHTO para diseño de pavimentos rígidos y flexibles en su última versión incluye nuevas consideraciones entre las cuales se cuentan variables como, la confiabilidad del diseño, los módulos de elasticidad de la subrasante y capas del pavimento, los factores ambientales de temperatura y humedad, condiciones de drenaje, aspectos económicos y conocimientos empíricos de

diseño. A continuación se describen los parámetros de diseño utilizados en el prediseño de la vía de acceso de localidad de Suba a la Autopista Medellin

- **Periodo de diseño**: Se refiere al tiempo que dura la estructura inicial antes de requerir una nueva rehabilitación. Para este prediseño se adoptó un periodo de diseño de 20 años

- **Tránsito**: El método de diseño se basa en el número de ejes equivalentes de 18 Kips en el carril de diseño (W_{18}). De acuerdo con el estudio de tránsito y los factores equivalentes de daño por tipo de vehículo se determinó el número de ejes equivalentes de 18 Kips que utilizarán el carril de diseño, durante la vida útil de la vía. En el Anexo 2 se presentan las proyecciones del TPD por cada tipo de vehículo y el cálculo del número de ejes equivalentes acumulados W_{18}. De acuerdo con lo anterior para este diseño se obtiene:

$$W_{18} = 11{,}65 \times 10^6$$

- **Confiabilidad:** Se refiere a la probalidad de que una sección diseñada, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño. Para el caso de este estudio según recomendaciones de la Aashto para este tipo de carreteras se adoptó igual a 90%

- **Serviciabilidad**: Se relaciona con la idoneidad que tiene el pavimento para servir a la clase de tránsito que lo va utilizar y se evalua a través del índice de servicio presente (PSI), el cual varia de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta). Para este caso de acuerdo a lo recomendado por la Aashto se adoptó un valor PSI=2,5

- **Módulo resiliente de la subrasante**: El módulo de resiliencia de la subrasante se obtuvo a partir del valor de soporte CBR equivalente del relleno y subrasante natural mediante la siguiente correlación.

$$MR = CBR \times 1500 \text{ (psi)}$$

De acuerdo con lo anterior para CBR=10, se obtiene MR = 15.000 (psi) = 100.000 (kPa)

Como se anoto anteriormente se considera que el relleno de material granular de espesor mínimo de 75 cm actue como capa de mejoramiento de la subrasante dando como resultado un CBR equivalente de 10%

- **Coeficientes de capas**: El método asigna a cada capa del pavimento (subbase, base y concreto asfáltico) un coeficiente (Di) en función del módulo elástico (resiliente) el cual es requerido para el diseño estructural del pavimento. Igualmente se asigna un coeficiente o factor (m_i) en función de las condiciones de drenaje de cada capa. Para este prediseño se utilizaron los siguientes coeficientes:

CAPA	COEFICIENTE DE CAPA	FACTOR DE DRENAJE
Concreto asfáltico	0,44	N/A
Base granular	0,14	0,8
Subbase granular	0,10	0,6

4.3 RESULTADOS FINALES

Para el cálculo de espesores de la estructura del pavimento se utilizó el programa computacional SpectraPave por medio del cual mediante sucesivos tanteos se encuentra la estructura óptima para los parámetros de diseño requeridos. Los resultados obtenidos finalmente fueron los siguientes:

CAPA	ESPESOR (cm)
Concreto asfáltico	13
Base granular	20
Subbase granular	30
Relleno seleccionado	75 (min*)
Geotextil no tejido	

* Para el tramo entre la localidad de Suba y el puente sobre el río Bogotá el espesor mínimo de relleno puede ser de 35 cm.

En el Anexo 2 se presentan las memorias de cálculo resultantes para el diseño de la estructura del pavimento.

4.4 ESTRUCTURA PAVIMENTO CICLOVÍA

Para la definición de la estructura del pavimento de la ciclovía se considera que esta deberá tener una suficiente capacidad para soportar un tráfico liviano mínimo. De acuerdo con lo recomendado en el Manual de Diseño de Ciclorutas para Santafé de Bogota (IDU, 1999) se adoptó la siguiente estructura.

CAPA	ESPESOR (cm)
Rodadura asfáltica (Art 450 INV)	2,5
Base asfáltica (Art 450 INV)	5,0
Base granular (Art 330 INV)	15
Subbase granular (Art 320 INV)	15
Geotextil no tejido	

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

5. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

- El diseño de la estructura del pavimento se basa en que por encima de la subrasante natural se coloque por lo menos un espesor de 75,0 cm de relleno de mejoramiento en material granular para el tramo río Bogotá-Autopista medellin y un espesor mínimo de relleno de 35,0 cm para el tramo Suba-Rio Bogotá. El materia de relleno deberá tener las siguientes características:

  Tamaño máximo =3"
  Porcentaje que pasa tamiz No. 200 ≤ 25
  Índice de plasticidad ≤ 12

- Previamente a la colocación del relleno se recomienda descapotar aproximadamente 1,0 m de capa vegetal y material orgánico existente en el terreno y luego instalar geotextil filtrante tipo no tejido, para prevenir su contaminación con los materiales arcillosos que constituyen la subrasante natural.

- La capa de concreto asfáltico diseñada de 13,0 cm de espesor, se recomienda construirla en dos capas, una inferior de 7,0 cm de espesor y la superior de 6,0 cm; adicionalmente se recomienda que ambas capas cumplan con la gradación de rodadura y base asfáltica de las especificaciones técnicas de construcción del INV en su artículo 450.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Instituto de Desarrollo Urbano

6. SECCIONES TRANSVERSALES

En la figura 6.1 se presentan las secciones transversales típicas de la vía con los espesores de la estructura del pavimento.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano

7. LIMITACIONES DEL DISEÑO

El diseño del pavimento se basó en los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio realizadas para el proyecto. Si durante la construcción de las obras se efectúan modificaciones a los espesores recomendados o a las condiciones del diseño contenidas en este volumen, o si se detecta que las condiciones del subsuelo varían substancialmente con respecto a las descritas y establecidas en este informe, se deberá comunicar Ingetec con el propósito de llevar a cabo las revisiones y ajustes que sean del caso. Esta situación puede suceder, debido a que por la naturaleza del estudio la exploración adelantada es necesariamente puntual y en consecuencia, se pueden presentar condiciones del subsuelo no detectadas durante dicha investigación.

Adicionalmente, es conveniente puntualizar la necesidad de ejercer un control estricto de la calidad durante la etapa de construcción del proyecto tanto en los procedimientos constructivos como en el suministro de materiales para garantizar la calidad de la obra.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
MOVILIDAD
Instituto de Desarrollo Urbano